

QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS SERGIPANOS E SEU POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO NA GASEIFICAÇÃO EM ZONAS RURAIS DE SERGIPE

SILVA, Beatriz Regina Santos¹; OLIMPIO, Jade Luan Lima²; SILVA, Daniel Pereira³;
SILVA, Isabelly Pereira⁴

¹ Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, rss.beatriz@gmail.com

² Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, luan_lima2@hotmail.com

³ Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Sergipe, silvadp@hotmail.com

⁴ Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Sergipe, isabelly@ufs.br

Resumo: A gaseificação de biomassa é um método de conversão termoquímica de um combustível sólido em gasoso. Neste trabalho realizou-se pesquisa sobre o tema e sobre o potencial da utilização de resíduos sólidos gerados pela agricultura sergipana como combustível para utilização em gaseificador, avaliando a composição elementar e outras características da biomassa, indicando resíduos como o da cana-de-açúcar, milho e mandiocultura potenciais para utilização.

Palavras-chave: Biomassa; Gaseificação; Potencial energético.

QUANTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF SERGIPAN AGRICULTURAL WASTE AND ITS POTENTIAL FOR USE IN GASIFICATION IN SERGIPE RURAL AREAS

Abstract: Biomass gasification is a method of thermochemical conversion of a solid to a gaseous fuel. Research was done on the subject and on the potential of the use of solid residues generated by sergipana agriculture as fuel for use in gasifier. The elemental composition and other biomass characteristics were studied, and agricultural residues such as sugar cane, maize and cassava showed potential for use.

Keywords: Biomass; Gasification; Energetic potential.

1 Introdução

A técnica da gaseificação é fundamentada na conversão termoquímica da matéria sólida ou líquida em combustível gasoso. Esse combustível gerado pode ser utilizado diretamente como gás de queima, como combustível em máquinas, turbinas e caldeiras geradores de energia

elétrica e gás de síntese. Para isto, existem vários tipos de gaseificadores, em um gaseificador tipo downdraft o processo de conversão se inicia na zona de secagem, onde a umidade remanescente na matéria é evaporada pelo calor originado nas zonas inferiores. Essa temperatura está na faixa de 70-200°C, e a velocidade dessa evaporação depende da área superficial do material, teor de umidade, da difusividade interna da umidade nessa matéria, entre outros. É na zona de pirólise onde ocorre degradação térmica irreversível da biomassa. A fonte de calor dessa etapa é originária da combustão do material. Por fim, o char (carvão pirolisado oriundo da pirólise) é convertido a combustível gasoso na zona de redução (LORA, 2012).

Neste sentido, a biomassa apresenta grande potencial de geração de energia, seja elétrica ou térmica, de acordo com o processo de conversão. Atualmente há a busca por novas fontes energéticas tanto para suprir a crescente demanda mundial por energia quanto a busca por fontes menos agressivas ao ambiente. A utilização da biomassa como combustível para a gaseificação é uma boa escolha nesse contexto pois apresenta baixo impacto ambiental e é solução para a questão da geração de resíduos provenientes da agricultura, ou até mesmo remanescentes do uso industrial (ANDRADE, 2007; RIBEIRO, 2010; LORA, 2012).

A biomassa pode ser delineada como matéria proveniente de fontes vegetais, com sua caracterização e definição variando de acordo com a sua fonte, podendo ser lenhosa, oleaginosa ou celulósica, por exemplo; sendo fatores importantes para uma boa aplicação desse material o conhecimento de seu teor de umidade, de cinzas, composição elementar, poder calorífico superior, material volátil, entre outros (VIEIRA, 2012).

Dentro deste contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial da utilização de gaseificadores bem como quantificar e qualificar os resíduos gerados pelas mesorregiões de Sergipe e sua possível aplicação como fonte de biomassa para tais aparelhos. A busca por tais informações se justifica na medida em que na região Nordeste existem localidades onde inexiste o acesso à energia elétrica.

2 Aproveitamento de Resíduos

Mundialmente a biomassa como fonte energética corresponde a 10-14% do abastecimento de energia, e é a principal fonte energética de países em desenvolvimento, chegando ao valor de 40%. No cenário brasileiro, segundo o Projeto BRA- Panorama do Potencial de Biomassa, no Brasil para a produção de cana-de-açúcar na safra de 2000/2001, o maior potencial de geração de energia elétrica correspondeu à mesorregião Leste Alagoano com a capacidade de geração de 59,6 MW considerando uma tecnologia de geração com a menor

eficiência. Nesse cenário, o Leste Sergipano se destacou com potencial na utilização dos resíduos do coco-da-baía, e estimando a produção agrícola de 1999, foi possível calcular um potencial de geração de 3,52 MW (MOURAD, 2004).

A desconstrução é outro método de aproveitamento da biomassa. Nesse processo existem pré-tratamentos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos visando o melhor aproveitamento dos polímeros constituintes da matéria via aumento do acesso das enzimas para melhorar a digestibilidade (SANTOS, 2012). Esse pré-tratamento tem como objetivo a extração da lignina, hemicelulose e celulose, diminuir a cristalinidade desta, e aumentar a porosidade do material. A lignina é utilizada como substituinte aos derivados do petróleo como antioxidantes, resinas fenólicas, solventes e estabilizantes enzimáticos, enquanto a celulose e hemicelulose sofrem hidrólise durante o pré-tratamento e são decompostas em açúcares, quando em condições específicas. Esses carboidratos têm como maior potencial de utilização serem fontes de matéria industrial para produção de solventes, intermediários químicos na indústria farmacêutica e na química fina em geral. Quando a biomassa é submetida a uma pirólise rápida, com quantidades controladas de oxigênio, são obtidos o bio-óleo e o bio-carvão (EMBRAPA, 2011; NUNES, 2013; SUN, 2002).

De maneira geral as tecnologias para conversão da biomassa são a queima direta para a produção de energia térmica e elétrica, processamento biotecnológico, que pode consistir na fermentação, craqueamento, ou esterificação da matéria. O processo a ser utilizado depende do tipo de biomassa e do combustível que se deseja obter (GOLBEMBERG, 2009; GENOVESE, 2006; RIBEIRO, 2007). Além da conversão físico-química da biomassa, outra forma da sua utilização consiste na briquetagem da mesma, como foi estudado por Quirino (2011), na utilização dos resíduos agroindustriais de coco verde, ou por Protássio (2011) na utilização de casca de café e resíduos da colheita do milho.

3 Biomassa e Gaseificação

O gás produzido através do processo de gaseificação é comumente chamado de gás de síntese e, segundo Lora (2012) sua qualidade depende do tipo de reator, parâmetros da operação e do agente de gaseificação utilizado. Segundo Eichler (2015) no reator ocorrem basicamente quatro reações: secagem, pirólise, combustão e redução. No processo de secagem o calor fornecido pelo aparelho é utilizado para evaporar a água presente na biomassa. Na pirólise, em temperaturas iniciais de 230°C a 350°C compostos como a lignina são degradados e evaporam juntamente com outros compostos voláteis. É nessa etapa também onde são separados o vapor d'água, líquidos orgânicos (alcatrão e hidrocarbonetos poliaromáticos) e gases não

condensáveis do carbono sólido da matéria. Os produtos da pirólise são gases leves, alcatrão (líquido viscoso e corrosivo composto por compostos orgânicos pesados e moléculas inorgânicas) e carvão ou cinzas (resíduo sólido composto principalmente por carbono) (BASU, 2006).

Após a oxidação ocorre a redução, processo responsável pela formação do gás de síntese. Essa gaseificação envolve uma série de reações resultando na formação de gases combustíveis. A composição do gás gerado depende da biomassa utilizada, tipo de gaseificador, temperatura de operação e umidade da biomassa. Mas, de maneira geral sua composição contém H_2 , CO, H_2O , CH_4 e CO_2 , podendo conter outros gases indesejáveis, como gases de enxofre e nitrogênio. A composição típica do gás para diferentes gaseificadores e combustíveis é mostrada na Tabela 1 (BASU, 2008; EICHLER, 2015; ROCHA, 2007).

Tabela 1 – Composição típica do gás para gaseificadores e combustíveis

Tipo de Gaseificador (mistura na alimentação - % base úmida)	Updraft: madeira (10-20)	Downdraft: madeira (10-20)	Cross-draft: carvão (5-10)
Hidrogênio	8 - 14	12 - 20	5 - 10
Monóxido de Carbono	20 - 30	15 - 22	20 - 30
Metano	2 - 3	1 - 3	0,5 - 2
Dióxido de Carbono	5 - 10	8 - 15	2 - 8
Nitrogênio	45 - 55	45 - 55	55 - 60
Oxigênio	1 - 3	1 - 3	1 - 3
Umidade no gás - $Nm^3 H_2O/Nm^3$ gás seco	0,20 - 0,30	0,06 - 0,12	< 0,3
Alcatrão no gás - $Nm^3 H_2O/Nm^3$ gás seco	2 - 10	0,1 - 3	< 0,3
Poder calorífico inferior MJ/Nm^3 gás seco	5,3 - 6,0	4,5 - 5,5	4,0 - 5,2

Fonte: Adaptado de STASSEN (1995)

3.1 Pré-tratamento da biomassa e limpeza do gás de síntese

O pré-tratamento da biomassa é realizado para garantir o funcionamento correto do equipamento e uma boa eficiência do processo. Essa etapa consiste na secagem da matéria e redução granulométrica da mesma. A limpeza do gás pode ser realizada por processos físicos como filtração, processos térmicos, catalíticos e combinações. A retirada de sólidos por meio da filtragem deve existir pois partículas sólidas podem ser carregadas pelo gás durante o processo. O gaseificador downdraft produz gás livre de alcatrão segundo STASSEN (1995), mas para outros aparelhos o craqueamento desse grupo de hidrocarbonetos pode ser realizado através do craqueamento catalítico (QUITETE, 2014). A limpeza também deve ser realizada para que o gás atenda padrões de qualidade ambiental e não prejudique motores caso sua aplicação seja a geração de energia elétrica (de Sales, 2007).

3.2 Biomassas utilizadas no Brasil

Segundo Atlas de energias renováveis divulgado pela ANEEL, em novembro de 2008 no Brasil foram registradas 302 termelétricas movidas à biomassa, desse total 13 eram abastecidas por licor negro (proveniente da celulose), 27 por madeira, 3 por biogás, 4 por casca de arroz, e 252 por bagaço de cana-de-açúcar. Tais termelétricas foram responsáveis por gerar 5,7 GW instalados.

Informações como fornecidas pelo Atlas da ANEEL, e Goldemberg (2017) mostram, que de maneira geral no Brasil as principais biomassas utilizadas são resíduos da cana-de-açúcar e biomassa florestal (lenha), e sua principal utilização é para geração de energia elétrica.

3.3 Composição desejável da biomassa

Jenkins (1998) afirma que os componentes da biomassa são celulose, hemicelulose, lignina, lipídeos, proteínas, água, amido, hidrocarbonetos, açúcares simples e outros. A distinção da biomassa é baseada na composição estrutural de celulose, hemicelulose, lignina e outros compostos inorgânicos. Esses resíduos lignocelulósicos apresentam alto teor de umidade e baixa densidade (QUIRINO, 2003).

As características e propriedades de biomassa normalmente são determinadas com a matéria em seu estado original, pois com o aumento da pressão e temperatura ocorre a decomposição da matéria, o que torna o estudo das características complexo. Dentre as características já citadas, em relação à formação de cinzas vale ressaltar que os elementos Si, K, Na, S, Cl, P, Ca, Mg, e Fe contribuem para a formação de cinzas durante o processo de combustão (JENKINS, 1998). A formação de cinzas é indesejável pois reduz o rendimento da conversão e aumenta os custos operacionais do aparelho (RODRIGUEZ, 2007).

Segundo Chaves (2007), fatores que influenciam na composição do gás, dentre os já citados, são umidade, densidade e granulometria do combustível a ser utilizado. A umidade deve ser considerada pois influencia tanto na absorção de calor pela matéria, como na ocorrência das reações de gaseificação citadas. Se a matéria apresentar alto teor de umidade grande parte da energia será gasta para a evaporação desta, reduzindo o desempenho do sistema (OLIVEIRA, 2010). A granulometria é fator importante pois um material com menor área de contato carboniza mais rapidamente, a uniformidade da matéria evita a formação de zonas com diferentes temperaturas dentro do gaseificador como também a possível formação de bolsões de gás dentro do aparelho. A densidade deve ser considerada pois está ligada à composição química e distribuição de massa no corpo. Na biomassa a atenção é voltada à composição lignocelulósica, portanto uma matéria densa apresentará maiores teores de celulose,

hemicelulose e lignina, conseqüentemente maior velocidade na formação de gases durante o processo. Além desses fatores, Rodriguez (2007) afirma que as principais características para a conversão da biomassa são o poder calorífico inferior, conteúdo de cinzas e metais alcalinos, e se a biomassa for úmida o teor de celulose e lignina juntamente com o teor de umidade merecem atenção. O poder calorífico superior não contabiliza a umidade presente no combustível, por esse motivo o PCI é mais utilizado nos processos de gaseificação. Portanto, as características ideais de aplicação de um resíduo como biomassa é o baixo teor de umidade de cinzas, baixa composição de elementos alcalinos e conseqüentemente formadores de cinzas e uniformidade na matéria utilizada.

4 Produção agrícola de Sergipe

Devido à diversidade climática, e às diferentes características do solo de cada região do estado, existem diversas culturas agrícolas. A secretaria de estado do planejamento, orçamento e gestão divulgou uma nota técnica em 2016 informando sobre as principais culturas agrícolas produzidas no estado. Seguindo esse documento foi possível organizar a Tabela 2, sobre as lavouras temporárias e permanentes do estado. Segundo o IBGE (2009), no estado há o predomínio da agricultura familiar onde o próprio produtor é o proprietário das terras.

Tabela 2 – Lavouras temporárias e permanentes em Sergipe

Lavouras	
<u>Temporária</u>	<u>Permanente</u>
Abacaxi	Banana
Amendoim	Coco-da-baía
Arroz	Goiaba
Batata-doce	Laranja
Cana-de-açúcar	Limão
Feijão	Mamão
Fumo	Manga
Mandioca	Maracujá
Milho	Tangerina

Fonte: Adaptado do perfil da agricultura Sergipana 2015

5 Principais Resíduos de Sergipe

Os materiais orgânicos deixados no campo provenientes da atividade agrícola são denominados resíduos agrícolas. De maneira geral esses resíduos são compostos por folhas, caules e palha (ABIB, 2012). Dados disponibilizados pelo IBGE sobre a produção agrícola municipal permitiram a quantificação dos resíduos das principais culturas temporárias e permanentes produzidas no estado de Sergipe.

Tabela 3 – Principais culturas e quantidade produzida das mesmas no Estado de Sergipe

Principais produtos das lavouras temporárias e permanentes	Quantidade Produzida em 2016 (t)	Quantidade Produzida em 2015 (t)	Quantidade Produzida em 2014 (t)	Produção Média (t)
Cana-de-açúcar	2 393 110	3 220 415	3 037 432	2 883 652
Laranja	489 156	552 817	614 227	552 067
Milho (em grão)	140 962	495 729	762 472	466 388
Mandioca	295 515	380 182	415 910	363 869
Coco-da-baía (1)	230 646	240 203	239 211	236 687
Batata-doce	35 086	36 868	40 271	37 408
Arroz (em casca)	33 058	25 164	41 714	33 312
Banana	22 739	29 337	35 301	29 126
Manga	16 685	22 188	16 081	18 318

(1) Quantidade produzida em 1 000 frutos.

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Produção Agrícola Municipal 2016

A partir desses dados percebe-se que as culturas predominantes no estado são cana-de-açúcar, milho, laranja e mandioca. Portanto, é notável a necessidade do conhecimento dos resíduos gerados por essas culturas e sua caracterização para sua possível aplicação como combustível de gaseificação. Em relação às principais culturas de Sergipe já citadas, foi possível elaborar análises com seus resíduos e características, conforme Tabela 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Análise imediata e elementar dos resíduos da produção de Cana-de-açúcar

	Bagaço de cana	Bagaço de cana	Bagaço o	Bagaço	Bagaço de cana	Palha de cana	Palha de cana
Análise imediata (%)							
Teor de umidade		50,2					29,40
Sólidos voláteis	73,78	79,90	82,31				78,64
Sólidos totais							
Cinzas	9,79	2,20	0,8				4,32
Carbono fixo	14,95	18,00	17,16				17,46
Celulose	34,5		48,56	32-48		40-44	65,65
Hemicelulose	29			19-24		30-32	
Lignina	18,4		20,88	23-32		22-25	20,85
PCI (MJ.kg⁻¹)			16,1		17,3		16,3
Análise elementar (%)							
C	44,8	44,60	45,3		44,8		44,6
H	5,35	5,80	6,8		5,35		6,6
N	0,38	0,60	0,5		0,38		0,3
S	0,01	0,10	0,3		0,01		0,4
O	39,55	44,50	47,1		39,55		48,1
Fonte	da Silva, 2016	Rodrigues, 2010	Paula, 2011	Santos, 2012	Rodriguez, 2007	Santos, 2012	Paula, 2011

Tabela 5 – Análise imediata e elementar dos resíduos da produção de Milho

	Folha	Caule	Caule	Palha	Palha	Sabugo	Sabugo	Sabugo
Análise imediata (%)								
Cinzas	3,53	3,43			1,58	1,16		
Carbono fixo	18,43	20,47			17,05	18,32		
Celulose			35	38-40				45
Hemicelulose			25	28				35
Lignina	19,26	20,49	35	7 a 21	9,29	15,75		15
PCS(MJ.kg-1)	18,7	17,6			18,6	19,3	18,8	
Análise elementar (%)								
C	45,4	45,6			44,8	45,4	46,58	
H	6,8	6,5			6,8	6,7	5,87	
N	0,9	0,9			0,3	0,5	0,47	
S	0,3	0,3			0,1	0,3	0,01	
O	46,5	46,8			47,9	47	45,46	
Fonte	Paula, 2011	Paula, 2011	Santos, 2012	Santos, 2012	Paula, 2011	Paula, 2011	Rodriguez, 2007	Santos, 2012

Tabela 6 – Análise imediata e elementar dos resíduos da produção de mandioca

	Bagaço	Haste	Caule	Caule
Análise imediata (%)				
Teor de umidade	7,6	15,5	8,3	8,3
Sólidos voláteis	81,7	79,9	77,7	71,3
Sólidos totais				
Cinzas	1	6	4,1	3,7
Carbono fixo	9,7	14,1	18,2	16,7
Celulose	28,5	-	-	27,8
Hemicelulose	31,3	-	-	39,7
Lignina	22,2	-	-	21,7
PCI (MJ.kg⁻¹)	15,3	17,6	23,7	
Análise elementar (%)				
C	40,4	51,1	51,6	51,6
H	6,8	6,9	6,7	6,7
N	0,1	0,7	1,3	1,3
S		< 0,1	< 0,1	< 0,1
O	52,8	41,3	40,5	40,5
Fonte	Zannata, 2012	Pattyia, 2011	Pattyia, 2011	Pattyia, 2010

Percebe-se, então, o potencial de utilização de tais resíduos como combustível para a gaseificação pois apresentam baixo teor de umidade e de cinzas.

6 Utilização dos Resíduos de Sergipe

Segundo o panorama energético de Sergipe, cinco usinas termoelétricas no estado geram energia através do bagaço da cana-de-açúcar. A Usina Elétrica Renovável Gentil Barbosa, localizada no complexo agroindustrial Campo Lindo gera 34 MW a partir da biomassa de cana-de-açúcar destinado a abastecer o complexo agroindustrial em Nossa Senhora das Dores.

O Plano intermunicipal de Resíduos Sólidos do agreste Sergipano informa que as principais culturas de Sergipe são laranja, coco-da-baía, banana, milho, feijão, arroz, mandioca e, com destaque, a cana-de-açúcar. Essas culturas foram citadas acima na tabela 3, com exceção do feijão. Confirma-se, então, o destaque desses produtos cenário agrícola do estado. Tal Plano informa ainda, que os resíduos provenientes da colheita permanecem no local do plantio e os nutrientes são reincorporados ao solo. Quando não deixados decompor naturalmente, os resíduos são submetidos ao processo de queima, como ocorre frequentemente na cultura da cana-de-açúcar, o que gera prejuízos ao meio ambiente em virtude da liberação de gases poluentes na atmosfera. Obteve-se, ainda, informações sobre o quantitativo de resíduos gerados, mas não existem dados sobre a quantidade específica de cada tipo de resíduos, como mostrado na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Resíduos Gerados na Atividade Agrícola no Agreste central Sergipano em 2012.

Culturas	Produção Total Colhida (t)	Produção industrializada (t)	Resíduos Gerados (t)
Laranja	4 844	4 650	2 325
Coco-da-baía	553	387	232
Banana	12 336	370	185
Milho	59 868	59 868	34 723
Feijão	1 592	1592	844
Arroz	-	-	-
Mandioca	95 650	-	-
Cana-de-açúcar	553 270	553 270	165 981

Fonte: Adaptado de M&C Engenharia/2014

Vale ressaltar que tais dados representam apenas uma parcela dos resíduos gerados correspondente ao agreste Sergipano, e servem como representativo para uma possível estimativa dos resíduos gerados pelas comunidades rurais.

6.1 Geração de Energia Elétrica

Chaves (2008) afirma que a produção de eletricidade a partir da gaseificação de biomassa integrada a motores de combustão interna apresenta potencial especial para áreas isoladas onde não há conexões com a rede elétrica ou seu custo é alto, como ocorre no meio rural. Segundo Lora (2004), para a geração de eletricidade na faixa de potência de 100 kW a 2

MW a utilização de gaseificador de leito concorrente é mais indicada, já para potências superiores a 3-5 MW gaseificadores de leito fluidizado são apropriados.

A geração de energia elétrica a partir da gaseificação de biomassa envolve a utilização de motores de combustão interna alternativos, motores a gasolina, a gás ou a diesel. Se o gás proveniente da biomassa for utilizado em motores a gasolina não são necessárias alterações no mesmo, contrário do que acontece nos motores a diesel. Lora (2004) ainda exemplifica projetos de sucesso na geração de eletricidade a partir do gás de biomassa, como o projeto GASEIFAMAZ, uma parceria entre o Centro Brasileiro de Referência em Biomassa (CENBIO), BUN (Biomass Users Network of Brazil), Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e a Universidade do Amazonas (UA), esse projeto, durante a fase de testes obteve um gás de PCS 5,7 MJ/ referente a um consumo de biomassa e 18kg/h. O objetivo de aplicação é o fornecimento de energia elétrica para comunidades isoladas da região amazônica. Além da utilização de motores a combustão interna, pode-se gerar eletricidade com a utilização de motores Stirling, de combustão externa.

Segundo dados do IBGE (2009), 58,76% dos estabelecimentos agropecuários do estado de Sergipe não tinham acesso à eletricidade. Esse valor pode ser ainda maior, pois existem comunidades rurais isoladas que podem estar ausentes desses dados, portanto percebe-se a necessidade da utilização de tecnologias alternativas de geração de eletricidade.

7 Considerações finais

A utilização de biomassa é de base sustentável e ecologicamente viável, desse modo a aplicação da tecnologia de gaseificação é útil e importante em locais onde derivados do petróleo não são disponíveis, ou apresentam alto custo. Percebe-se, então, o potencial da gaseificação da biomassa como fator benéfico para as comunidades rurais de Sergipe na medida em que os resíduos de cana-de-açúcar, milho e mandioca estudados podem ser aplicados como combustível em virtude das suas características apresentadas. Por outro lado, uma maior caracterização dos resíduos disponíveis é necessária e estudos práticos devem ser realizados.

Referências Bibliográficas

ABIB - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA INDÚSTRIAS BIOMASSA BRASIL BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL. Inventário Residual Brasil - WoodPellets - Brique - Energia, 2011. E-book. Disponível em: <http://pt.calameo.com/read/000200968cc3a949579a0>. Acesso em 12/10/2017

ANDRADE, R. V., Gaseificação de Biomassa: Uma Análise Teórica e Experimental. 2007. Itajubá, 205p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica -. Atlas de energia elétrica do Brasil, 3 ed. Brasília, 2008.

BASU, P. Combustion and Gasification in fluidized beds. CRC Press, 17 de fevereiro 2006. 496 p.

CHAVES, M. D. A., et al. GASEIFICAÇÃO DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Ciência Florestal, 2008. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53421625011>> . Acesso em outubro de 2017

CHAVES, M. D. Gaseificação de materiais lignocelulósicos para geração de energia elétrica. 2007. 61 p. Dissertação de mestrado. Mestrado em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Lavras – UFLA

COELHO, M. A. Z.; LEITE, S. G. F.; ROSA, M. de F.; FURTADO, A. A. L. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: Produção de enzimas a partir da casca de coco verde. Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011.

COELHO, SUANI T., CRISTIANO, O. S., CONSÍGLIO, M., PISETTA, M., MONTEIRO, M. B. - PROJETO BRA/00/029 – Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL. Capacitação do Setor Elétrico Brasileiro em Relação à Mudança Global do Clima, Brasília, 2002.

DA SILVA, P.R.N; Gonçalves, G. R.; Freitas, J. C. C. Preparação, caracterização e avaliação na gaseificação de celuligninas de bagaço de cana e casca de arroz: caso de reaproveitamento de resíduos lignocelulósicos. Rev. Virtual Quim., 2016, 8 (5), 1262-1276.

DA SILVA, V. F. N.; Estudos de pré-tratamento e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico. Dissertação de Mestrado. 113 f. Mestrado em Ciências - Programa de pós-graduação em biotecnologia industrial na área de conversão de biomassa. Escola de engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. EEL. Lorena, 2009.

DE OLIVEIRA, J. L. Potencial energético da gaseificação de resíduos da produção de café e eucalipto. Dissertação de Mestrado. 97 f. Mestrado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa, 2010

DE SALES, C. A. V. B., Avaliação técnico econômica da conversão da biomassa em eletricidade utilizando tecnologias de gaseificação. Dissertação de mestrado. 188 f. Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI. Minas Gerais, 2007

EICHLER, P. et al. Biomethanol production via gasification of lignocellulosic biomass. Quim, Nova, v.38, n.6, p.828-835, 2015.

EMBRAPA AGROENERGIA. Biorrefinarias: Cenários e Perspectivas. 176p, Brasília, DF, 2011

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M.E.M.; GALVAO, L.C.R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6. 2006, Campinas.

GOLDEMBERG, J. Atualidade e Perspectivas no uso de biomassa para geração de energia. Rev. Virtual Quim., v.9, n. 1, p.15-28, 2017.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e Energia. Quim. Nova, v.32, n. 3 p.582-587, 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2006 Brasil, grandes regiões e unidades da federação. 2009. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf>. Acesso em outubro de 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Municipal: Culturas temporárias e permanentes. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?&t=downloads>>. Acesso em outubro de 2017

JENKINS, B. M. Bioenergy, Biofuels, and Potentials for Sustainable Development, Energy Lecture Series, Department of Biological and Agricultural Engineering, 14 de março, 2007. Disponível em: <http://bioenergy.ucdavis.edu/downloads/Jenkins031407_EnergyLecture_Biofuels.pdf>. Acesso em 15 de setembro de 2017.

JENKINS, B.M,L.L BAXTER, T.R MILES,T.R. Combustion properties of biomass. Fuel Processing Technology, Elsevier, March 1998.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B. de; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. de. Química da madeira. 3ª ed. Revisada, Curitiba, PR, 2005.

KROHL, D. R. Pirólise rápida de folhas de bananeira em reator de leito fluidizado. Dissertação de mestrado. Mestrado em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE, Joinville, 2014.

LORA, E., et al. Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis. In: LORA, E., et al.(eds). Biocombustíveis. Interciência, 2012 p. 411-498.

LORA, E., et al. Geração elétrica em pequena escala a partir da gaseificação de biomassa. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5, 2004, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000200002&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 14 Outubro. 2017.

MARTINI, P. R. R. Conversão Pirolítica de Bagaço Residual da Indústria de suco de Laranja e caracterização Química dos Produtos. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Química, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, 2009.

MELGAR, A.; PÉREZ, J. F.; LAGET, H.; HORILLO, A. Thermochemical equilibrium modelling of a gasifying process. Energy Conversion and Management, vol. 48, p. 59-67, 2007

MENDES, K. C. S. Estudo do processo de pré-tratamento da palha de cana-de-açúcar para a otimização da produção de xilose com reduzida formação de produtos de degradação. Dissertação de mestrado. Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA: Matriz energética nacional 2030. 254p, EPE, Brasília, 2007.

MOURAD, A. L.; AMBROGI, V. S.; GUERRA, S. M. G. Potencial de utilização energética de biomassa residual de grãos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5. 2004, Campinas.

NUNES, R. M. et al. Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda geração no Brasil. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 14, n. 22, p. 113-238, jul./dez. 2013

PATTIYA, A., Titiloye, J.O., Bridgwater, A.V., 2010. Evaluation of catalytic pyrolysis of cassava rhizome by principal component analysis. Fuel 89, 244–253.

PATTYIA, A. Bio-oil production via fast pyrolysis of biomass residues from cassava plants in a fluidised-bed reactor. Bioresource Technology, v.102, p. 1969-1967, 2011.

PAULA, L. E. de R e, et al . Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. CERNE, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, Junho 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602011000200012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 02 Agosto. 2017.

PROTÁSIO, Thiago de Paula et al. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273, June 2011. ISSN 1983-2605. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/288>>. Acesso em: 02 agosto. 2017.

QUIRINO, W. F. Utilização Energética de Resíduos Vegetais. Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA. Brasília, 2003. 14p.

QUITETE, C. P. B.; SOUZA, M. M. V. M.. Remoção do alcatrão de correntes de gaseificação de biomassa: processos e catalisadores. Quím. Nova, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 689-698, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422014000400019&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 14 Outubro. 2017.

RIBEIRO, Ricardo da Silva. Investigação experimental e integração de um sistema de geração de energia elétrica por gaseificação de biomassa para comunidades isoladas. 2010. 146 p. Dissertação (Mestrado em ciência mecânica) - Faculdade de tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.

ROCHA, J. D. Síntese Fischer-Tropsch: produção de combustíveis líquidos da madeira energética (BTL). Workshop Madeira Energética, 29 de maio de 2007, BNDES-RJ. Disponível em: <<http://www.slideserve.com/quynh/s-ntese-fischer-tropsch-produ-o-de-combust-veis-l-quidos-da-madeira-energica-btl-jos-dilcio-rocha-nipe>>. Acesso em 14/10/2017.

ROCHA, M. S. R. dos S.; ALMEIDA, R. M. R. G.; CRUZ, A. J. G. da. Avaliação do potencial energético de resíduos agroindustriais provenientes de diferentes regiões brasileiras. Engevista 2017 v.19 N.1 p.217-235, Niteroi, Brasil, 2017.

RODRIGUES, R; et al. Análise da eficiência termodinâmica da gaseificação de diferentes biomassas. In: IX Oktoberforum - PPGEQ. 2010, Rio grande do sul.

RODRIGUEZ, C. J. C. Análise Técnica – Econômica de um Gaseificador de Biomassa de 100 kg/h para acionamento de um Motor de Combustão Interna. 2007. 195 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

SANTOS, Fernando A. et al . Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. Quím. Nova, São Paulo , v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010040422012000500025&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 14 Out. 2017.

SEMARH - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS. Plano Intermunicipal de Resíduos Sólidos do Agreste Central Sergipano. Diagnóstico Regional dos Resíduos Sólidos - Produto 2. Aracaju, 2014.

SEPLAG - SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Perfil da Agricultura Sergipana - 2015. Aracaju, 2016.

STASSEN, H., Small-scale biomass gasifiers for heat and power; a global review, Technical paper no. 296, World Bank 1995.

SUDEN/SE - SUB SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO SUSTENTÁVEL. Panorama Energético de Sergipe 2014 - Ano Base 2012. Aracaju, 2014.

SUN, Y.; Cheng, J.; Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. Bioresour. Technol. 2002, 83, 1.

VERARDI, A.; DE BARI, I.; RICCA E.; CALABRÒ V. Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass: Current Status of Processes and Technologies and Future Perspectives, Bioethanol, Prof. Marco Aurelio Pinheiro Lima (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/23987. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/bioethanol/hydrolysis-of-lignocellulosic-biomass-current-status-of-processes-and-technologies-and-future-perspe>>. Acesso em setembro de 2017

VIEIRA, A. C. Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia. 2012. 72p. Dissertação de mestrado. Mestrado em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia — Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. Cascavel, PR

VIEIRA, G. E. G. et al. Biomassa: Uma visão dos processos de pirólise. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 15, n. 24, p. 105-212, jul./dez. 2014

ZANNATA, E. R. Estudo cinético da pirólise das biomassas: Bagaço de mandioca, casca de soja e bagaço de cana. Dissertação de Mestrado. 132 p. Mestrado em Engenharia Química. Universidade Estadual do Oeste do Paraná - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA INDÚSTRIAS BIOMASSA BRASIL BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL. Inventário Residual Brasil - WoodPellets - Briquete – Energia, 2011. E-book. Disponível em: <http://pt.calameo.com/read/000200968cc3a949579a0>. Acesso em 12/10/2017